Optische pick-up's

Optische pick-up's worden gebruikt in uw CD-, DVD- en BluRay-spelers om de gegevens te lezen van de optische schijfjes. Het zijn prachtige staaltjes van fijnmechanische technologie.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 20-02-2025

Inleidende begrippen

Drie functies
De optische pick-up is zonder enige twijfel het belangrijkste onderdeel van een CD-, DVD- of BluRay-speler. Dit ingewikkelde stelsel van laserdiode(s), lenzen, spiegels, prisma's en fotodiodes heeft namelijk drie belangrijke functies:

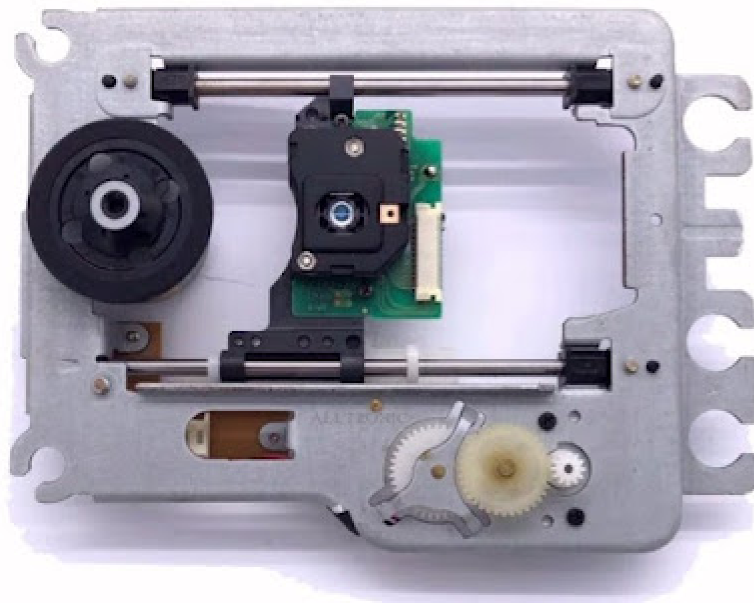
- Het detecteren van de nokken en dammen in de informatiespiraal op de CD en het omzetten van dit patroon in een bruikbaar digitaal signaal.
- De laserstraal die de informatiespiraal aftast precies gericht houden op de windingen van de spiraal.
- Het lenzensysteem besturen, zodat de straal precies op de reflecterende laag van de schijf gericht blijft.

Straal-correctie
De twee laatstgenoemde functies zijn zeer belangrijk! Door de zeer geringe afmetingen van het informatiespoor zal zelfs de geringste afwijking in de centrale positie van het centreergat of de geringste hobbel in de schijf tot gevolg hebben dat of de straal tientallen windingen overslaat of de lichtspot volledig uit focus komt.

Diverse systemen
Voor de optische pick-up zijn verschillende systemen ontworpen. Philips werkte met een enkelstraal-systeem terwijl de meeste Japanse fabrikanten gebruik maken van een systeem met drie stralen, de zogenaamde '*tri-spot*'-methode.

Diverse constructies
Daarnaast zijn in de loop der jaren twee constructies ontwikkeld. Bij de eerste generatie spelers was de gehele optische pick-up loodrecht ten opzichte van de schijf gemonteerd en werd dit geheel draaibaar rond een centrale as onder de schijf bevestigd. De werking van deze zogenaamde '*roterende optische pick-up's*' is dus in principe te vergelijken met deze van een traditionele arm in een draaitafel voor vinyl platen. Door de pick-up rond de centrale as te laten draaien kan de lichtstraal het volledige oppervlak van de schijf aftasten.
Een nadeel van deze systemen is dat de pick-up tamelijk diep is en dus niet bruikbaar is in geminiaturiseerde, draagbare optische spelers.
Vandaar dat men tegenwoordig hoofdzakelijk gebruik maakt van de zogenaamde '*slede pick-up's*'. De laserdiode zendt zijn straal uit in een vlak dat evenwijdig loopt aan de schijf. Nadien wordt deze straal 90° afgebogen naar het oppervlak van de schijf, zodat de straal toch loodrecht invalt op dit oppervlak. De optische pick-up wordt radiaal heen en weer bewogen onder de schijf. Deze constructie is dus in principe te vergelijken met een radiale pick-up arm

in een traditionele vinylspeler.



Het CD/DVD pick-up mechanisme PVR502W van JVC. (© AllTronic)

Diverse soorten optische pick-up's
Vanwege de veelheid aan gestandaardiseerde optische schijfjes die in de loop der jaren zijn ontwikkeld moeten moderne optische pick-up's aan steeds meer eisen voldoen. Een lang niet volledig lijstje van moderne systemen:

- Combi pick-up's voor CD/DVD:
  Bevatten een infrarode en een rode laser.
- Combi pick-up's voor CD/DVD/BluRay:
  Bevatten infrarode, rode en blauwe-violet lasers.
- Dual-layer pick-up's:
  Deze zijn ontworpen om gegevens van dual-layer schijven te lezen, zoals DVD's en BluRay's met meerdere lagen. De pick-up kan focussen op verschillende lagen om de gegevens correct te lezen.
- Multitrack optische pick-up's:
  Deze kunnen meerdere sporen tegelijk lezen om hogere leessnelheden te bereiken. Ze worden zelden gebruikt in consumenten apparatuur, maar wél in industriële toepassingen.
- Optische pick-up's met holografische technologie:
  Deze nog volop in ontwikkeling verkerende technologie gebruikt holografische technieken om grotere hoeveelheden gegevens op te slaan en te lezen van speciale optische schijven.

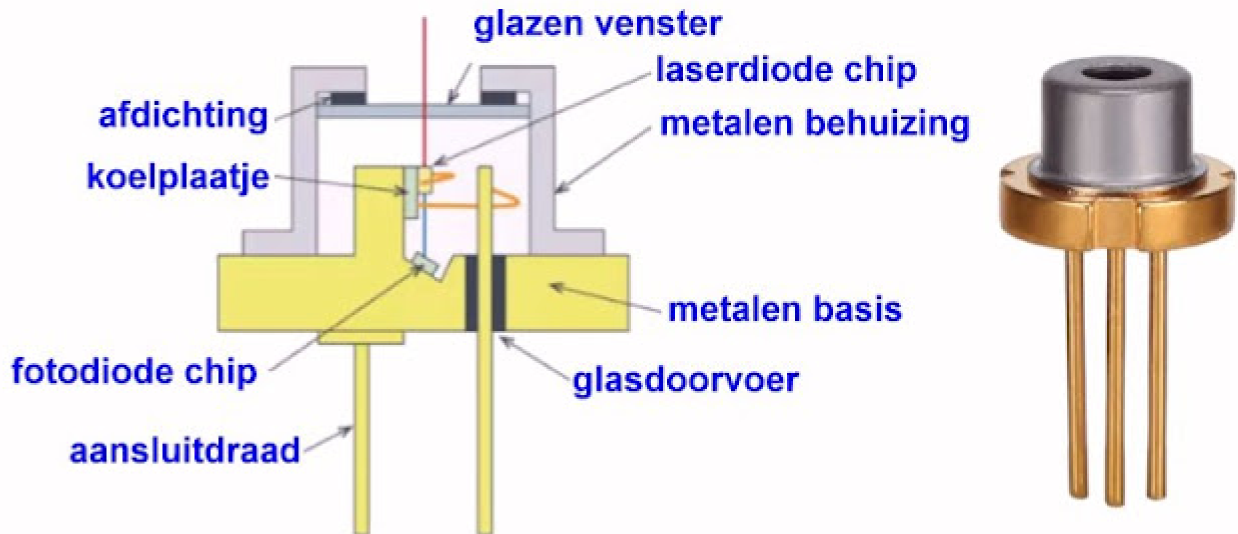
Beperking
In dit verhaal beperken wij ons tot de werking en constructie van de traditionele optische pick-up's die u kunt aantreffen in de CD/DVD-spelers in uw huis en auto.

De laserdiode

De golflengte
De golflengte hangt af van de data-capaciteit van het soort schijfje dat wordt gelezen:
- Infrarode lasers (780 nm) in CD-spelers, maximaal 700 MB.
- Rode lasers (650 nm) in DVD-spelers, maximaal 4,7 GB.
- Blauwe-violet lasers (405 nm) in BluRay-spelers, maximaal 25 GB.

Een kortere golflengte betekent dat de laserstraal een kleinere focusdiameter heeft. Dit maakt het mogelijk om kleinere details te detecteren en gegevens die dichter bij elkaar liggen tóch goed uit te lezen.

De samenstelling van de laserdiode
De constructie van een laserdiode is voorgesteld in de onderstaande figuur. Iets dat onmiddellijk opvalt is dat de diode drie aansluitingen heeft, terwijl men zou verwachten dat een laserdiode, net zoals iedere andere diode, het met twee aansluitingen kan stellen. Bij een nadere beschouwing van de constructie van zo'n onderdeel blijkt echter dat er, naast de eigenlijke laserdiode chip, ook nog een fotodiode chip in de behuizing zit.



De constructie van een laserdiode. (© 2015 Jos Verstraten)

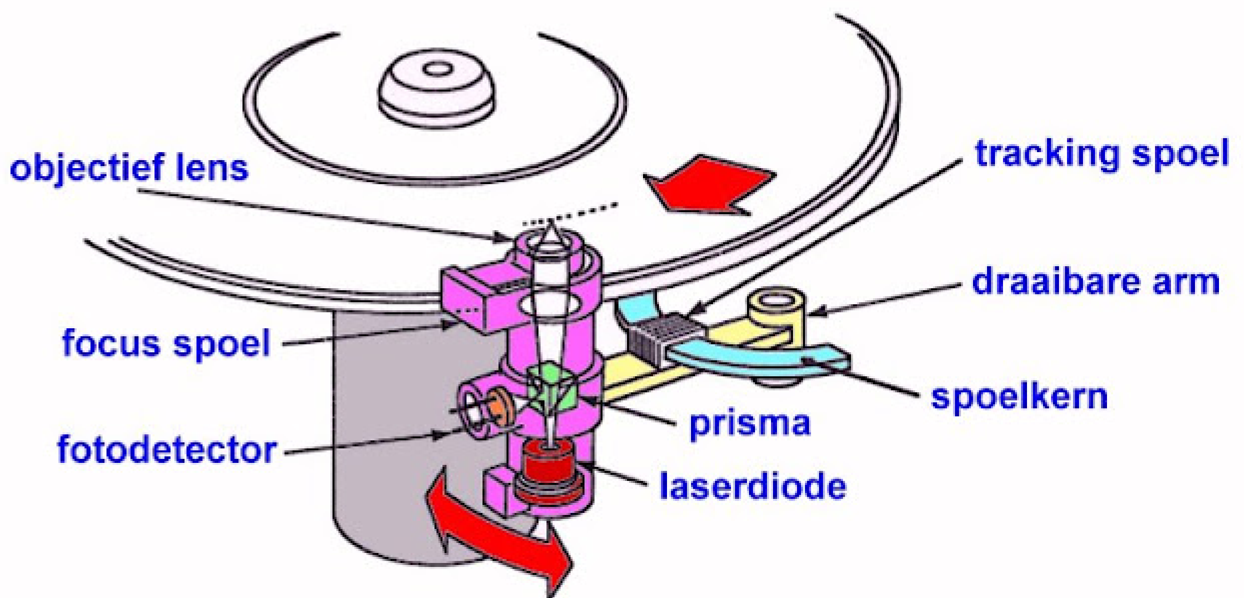
Deze fotodiode noemt men de monitordiode en in de meeste schema's van CD-spelers wordt deze diode voorgesteld door de afkorting '*MD*'. De afkorting '*LD*' staat dan uiteraard voor de eigenlijke laserdiode.
Deze monitordiode is noodzakelijk omdat het sturen van een laserdiode een tamelijk kritische zaak is. Het eigenlijke fysische laserproces treedt namelijk maar eerst op bij een bepaalde stroom I_d, stroom die erg afhankelijk is van de temperatuur. Wordt de diode doorlopen door een lagere stroom, dan werkt het onderdeel als een gewone LED en men zal niets meer waarnemen dan een zacht rood schijnsel.
De kritische laserstroom is gemiddeld gelijk aan 50 tot 80 mA en de stuurschakeling die de diode van een constante stroom voorziet moet de stroom steeds zo instellen dat de diodestroom groter is dan de kritische laserstroom I_d, maar anderzijds niet te groot wordt. Zoals uit de bekende geleidingskarakteristiek van een diode blijkt, zal namelijk het in de diode opgewekte vermogen zeer snel stijgen als de stroom boven de kritische waarde komt. Een zeer kleine stroomstijging heeft een vertienvoudiging van het vermogen tot gevolg. Zelfs zeer kleine stroomschommelingen kunnen tot gevolg hebben dat de diode wordt vernield.

Tegengekoppelde sturing
Vandaar dat het noodzakelijk is de stroom die door de laserdiode vloeit uit een tegengekoppelde stroombron te betrekken. De monitor-diode stuurt dit teruggekoppeld systeem.
Deze fotodiode vangt een gedeelte van de uitgezonden straling op. De grootte van het uitgangssignaal van deze diode is een maat voor de uitgezonden energie van de laserdiode. Op het moment dat de diode overgaat van LED- naar LASER-bedrijf zal het uitgangssignaal van de diode stijgen. Op deze manier is men in staat de laserstroom zo te regelen, dat onder alle temperatuursomstandigheden de diode net boven de kritische lasergrens wordt ingesteld.

De roterende optische pick-up

Inleiding
Roterende optische pick-up's waren dé standaard in de eerste generatie CD-spelers. Zij zijn echter groot en daardoor niet geschikt om in te bouwen in ultraplatte moderne spelers. Echter, u zult deze onderdelen nog vaak aantreffen in CD-spelers uit de vorige eeuw die deel uitmaken van een uit logge losse apparaten bestaande geluidsinstallatie.
De typische ophanging, constructie en samenstelling van een roterende optische pick-up onder de CD-lade is getekend in de onderstaande figuur. De constructie heeft twee zeer belangrijke functies:

- Het heen en weer bewegen van de laserstraal voor het volgen van het informatiespoor.
- Het op en neer bewegen van de objectieflens voor het focusseren van de straal op het informatie oppervlak van de schijf.



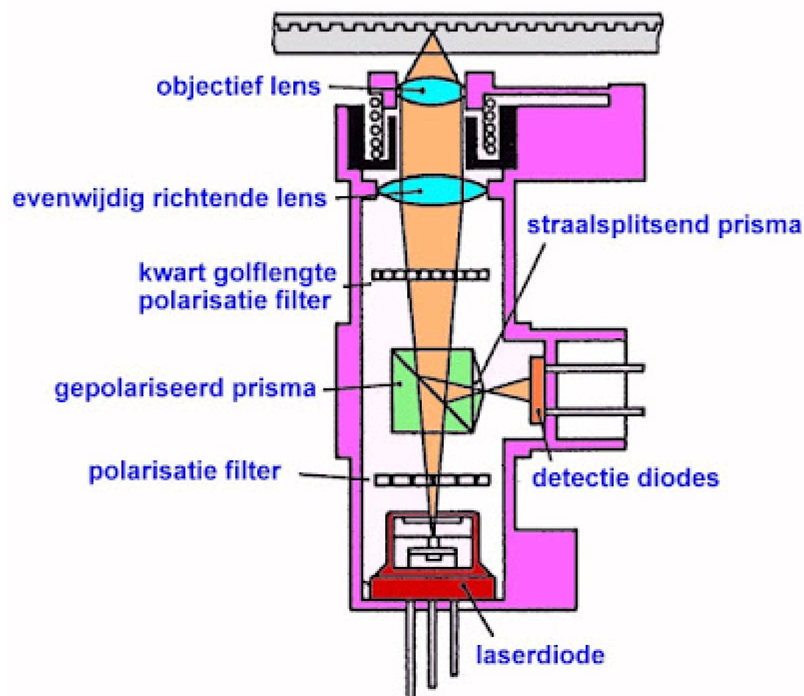
Constructie en ophanging van een roterende optische pick-up.
(© Researchgate, edit 2025 Jos Verstraten)

Heen en weer bewegen
Voor het volgen van de informatiespiraal moet de laserstraal heen en weer kunnen bewegen over de schijf. De noodzakelijke bewegingen voor het volgen van de spiraal zijn echter zo klein dat zelfs de nauwkeurigste stappenmotor veel te grof werkt. Men werkt dan ook met een elektromagnetisch systeem.
De pick-up is gemonteerd op een arm die rond een draaipunt heen en weer kan bewegen. Op de arm is een spoeltje aangebracht waarin een vast opgestelde weekijzeren gemagnetiseerde kern aanwezig is. Het systeem werkt in wezen op dezelfde manier als een elektrodynamische luidspreker. Als er een elektrische stroom door het spoeltje wordt gestuurd zal er rond dit spoeltje een magnetisch veld worden opgewekt waarvan de grootte afhankelijk is van de sterkte van de stroom. Dat magnetisch veld interfereert met het statisch veld van de weekijzeren kern. Het gevolg is dat de kern min of meer in de spoel wordt getrokken. Deze kleine radiale beweging wordt door de as versterkt, zodat de optische pick-up over het gehele informatieoppervlak van de CD-schijf kan bewegen.

Op en neer bewegen
Ook dit systeem werkt elektromagnetisch. De werking wordt toegelicht aan de hand van de doorsnedetekening in de onderstaande figuur. De objectieflens van de pick-up is gemonteerd in een soepele ophanging en voorzien van een kleine spoel. In het chassis van de pick-up is een ronde permanente magneet aangebracht rond deze spoel. Ook nu zal een stroom door

dit spoeltje interactie tussen de twee magnetische velden veroorzaken, zodat de lens op en neer kan bewegen.

Het optisch systeem
De laserdiode is in de bodem van de pickup aangebracht. De uitgezonden straal (oranje voorgesteld) gaat eerst door een polarisatiefilter en nadien door een gepolariseerd prisma. De stralen gaan daar recht doorheen en bereiken het kwart golflengte polarisatiefilter. De eerste, vast opgestelde lens, bundelt de uitwaaierende straling tot een evenwijdig verlopende bundel.
Tot slot wordt deze bundel door de objectieflens gestuurd. Het later te bespreken opto-elektronische systeem stuurt de focus-spoel zo, dat de straal op de reflecterende laag van de CD gefocusseerd blijft. De teruggekaatste stralen worden weer door het kwart golflengte polarisatiefilter gestuurd, zodat er een faseverschuiving van 90° ontstaat (een halve golflengte) tussen de uitgezonden en de teruggekaatste straling. Het gevolg is dat de teruggekaatste straling 90° wordt afgebogen in het gepolariseerde prisma. Op deze manier wordt het signaal afgebogen naar de detectiediodes.



Doorsnede door een roterende optische pick-up.
(© Yoreparo, edit 2025 Jos Verstraten)

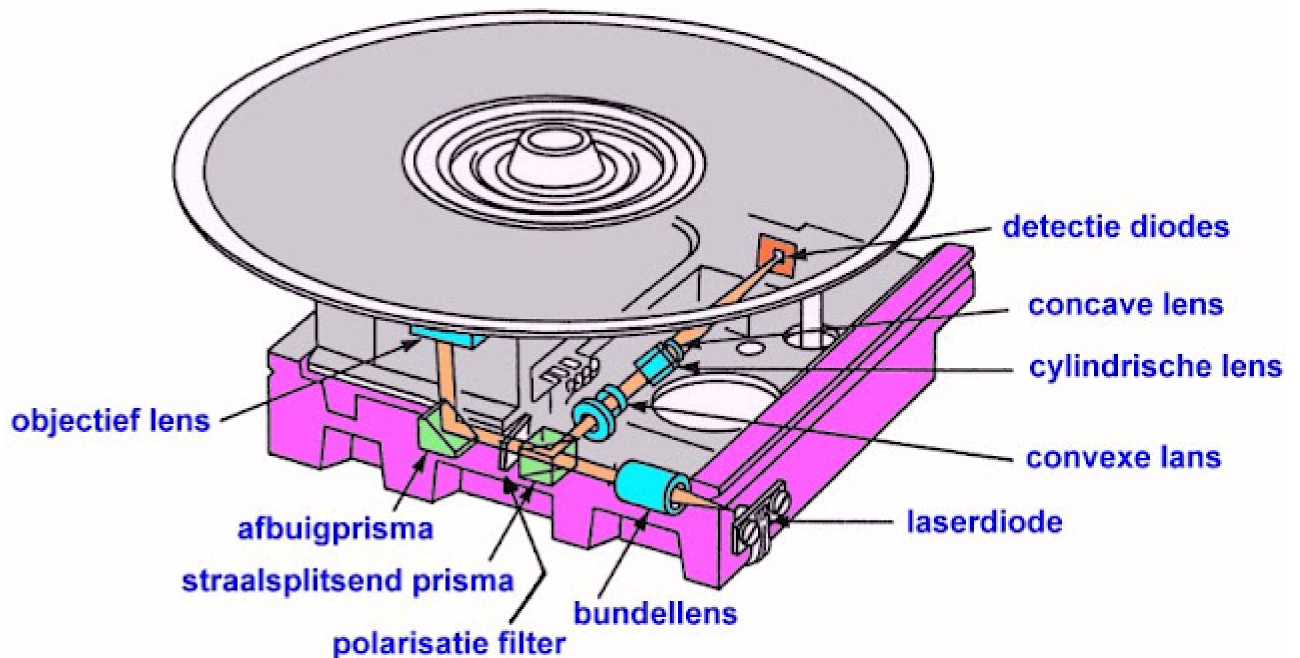
Praktische uitvoering van de pick-up
In de onderstaande figuur is de praktische uitvoering van een roterende optische pick-up weergegeven. De besproken onderdelen zijn duidelijk te herkennen!



De origineel door Philips ontworpen roterende optische pick-up.
(© Dutch Audio Classics)

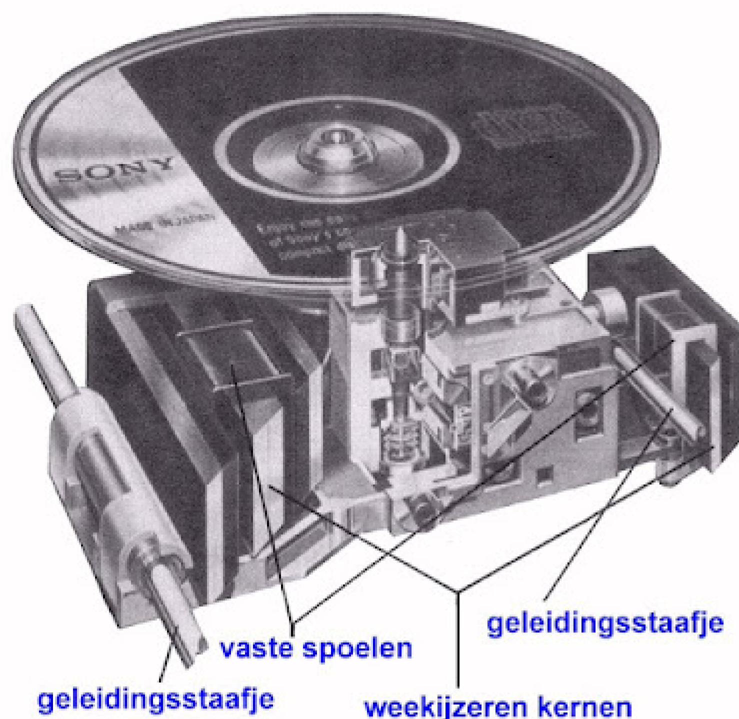
De slede pick-up

Principiële werking identiek
De twee basisbewegingen, heen en weer en op en neer, worden in principe op dezelfde manier bestuurd. In de onderstaande figuur is de fundamentele samenstelling van een slede pick-up getekend.
De laserdiode zendt de lichtbundel evenwijdig aan de CD uit. Na het doorlopen van de bundellens wordt de straal aan het straalsplitsend prisma aangeboden. De straal doorloopt dit prisma echter zonder afgebogen te worden.
Nadien doorloopt de straal het polarisatiefilter en wordt de straal loodrecht naar de CD afgebogen door een tweede, gewoon prisma. De loodrechte straal wordt vervolgens door de bestuurbare objectieflens op de reflecterende laag van de CD gefocusseerd.
De teruggekaatste stralen doorlopen het systeem in tegengestelde richting en worden door het half doorlatende straalsplitsend prisma naar de foto-detectoren geleid.



De samenstelling van een slede pick-up.
(© Dutch Audio Classics, edit 2025 Jos Verstraten)

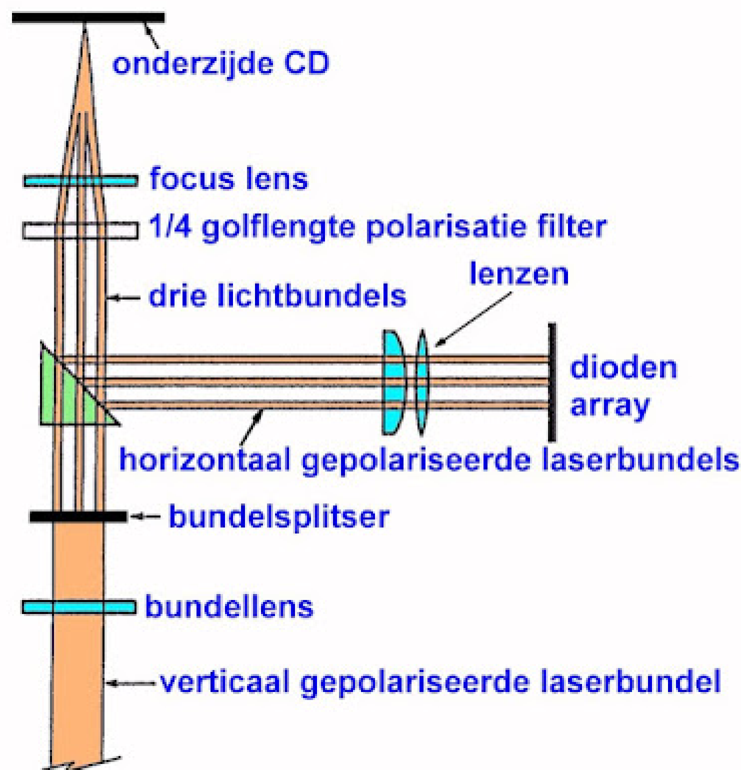
Het slede-systeem
De beschreven constructie wordt als een slede heen en weer bewogen. Ook dit gebeurt elektromagnetisch. In de onderstaande figuur is deze constructie geschetst.
De slede is uitgerust met twee magnetische weekijzeren kernen. Deze kunnen bewegen in de twee vast opgestelde spoelen. De slede glijdt heen en weer over de twee geleidingsstaafjes.
Door stromen door de spoelen te sturen zal er weer interactie tussen de twee magnetische velden optreden, zodat de volledige slede heen en weer wordt bewogen.



De constructie van de slede. (© Sony, edit 2025 Jos Verstraten)

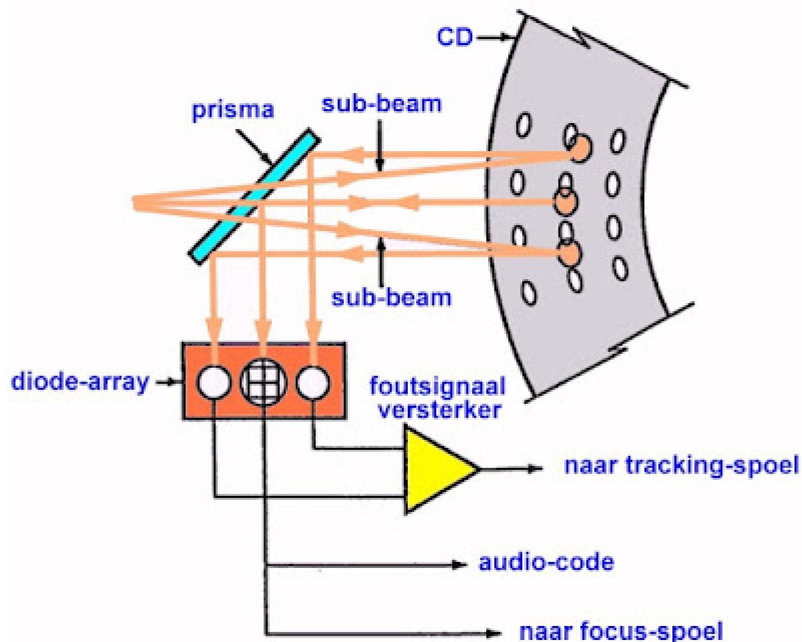
Het tri-spot systeem

Inleiding
Het tri-spot systeem is het door de Japanse fabrikanten ontwikkelde systeem dat de twee basisfuncties van de optische pick-up, het focusseren en richten van de straal op de windingen van de spiraal, uitvoert.
De principiële werking van het tri-spot systeem is getekend in de onderstaande figuur. De laserstraal die door de laserdiode wordt uitgezonden wordt door een speciaal optisch systeem gesplitst in drie stralen. Deze gaan door het half doorlatend prisma en de lens en vallen op het reflecterende oppervlak van de CD-schijf.
Na terugkaatsing en optische bewerking (de beroemde één kwart golflengte polarisator) worden de drie stralen door het prisma onder een hoek van 90° afgebogen en op een complex stelsel van fotodiodes (array) gefocusseerd.



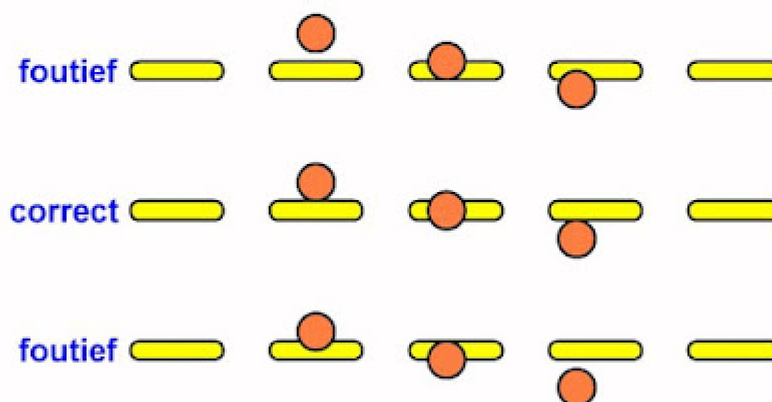
Werking van het tri-spot systeem grafisch toegelicht. (© 2025 Jos Verstraten)

Het diode-array
De samenstelling van dit diode-array is getekend in de onderstaande figuur. De hoofdstraal (main beam), verantwoordelijk voor het aftasten van het informatiespoor, valt op vier foto-diodes. De twee overige stralen (sub-beams) vallen op twee enkelvoudige foto-diodes, links en rechts van het kwartet opgesteld.



De samenstelling van het diode-array. (© 2025 Jos Verstraten)

De ideale spoorvolging
De drie stralen liggen zo ver uit elkaar dat, als de hoofdstraal precies op de spiraal staat ingesteld, de twee hulpstraaltjes net de putjes niet raken. Een en ander is getekend in de middelste tekening van de onderstaande figuur. In dit ideale geval zullen de twee hulpstralen alleen maar reflecteren op het gladde gebied van de schijf rond het informatiespoor. De teruggekaatste stralen hebben een constante intensiteit en wekken in de foto-diodes constante en even grote spanningen op. Deze twee signalen worden aangeboden aan de ingangen van een foutsignaal versterker. Deze versterker berekent het verschil tussen de twee even grote signalen en levert dus geen spanning af.



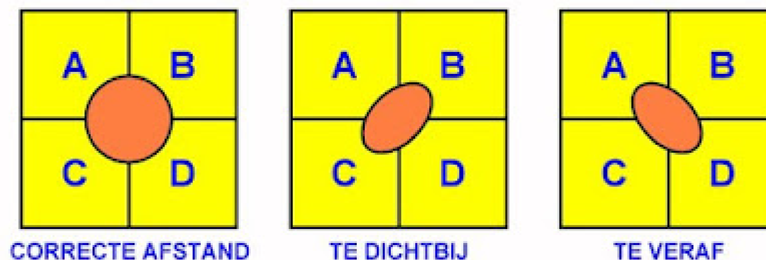
De werking van de spoorvolging bij het tri-spot systeem. (© 2025 Jos Verstraten)

De afwijkende spoorvolging
Als de hoofdstraal niet precies in het midden van het informatiespoor zit zal ofwel de linker ofwel de rechter hulpstraal voor een deel op de nokken vallen. De intensiteit van een van de teruggekaatste hulpstralen wordt daardoor kleiner. De twee foto-diodes leveren nu ongelijke signalen af. De verschilversterker levert een uitgangsspanning af, waarvan de grootte een maat is voor de mate van spoorafwijking en de polariteit een maat voor de richting van de afwijking. Dit signaal stuurt een servo-versterker die een stroom door de tracking-spoel stuurt. De arm wordt naar links of recht bewogen, tot de verschilversterker weer een nulspanning aflevert.

Het focussering systeem
Het focussering systeem maakt gebruik van bepaalde optische principes en een zeer gevoelig elektronisch regelsysteem. Die grote gevoeligheid is zonder meer noodzakelijk. De

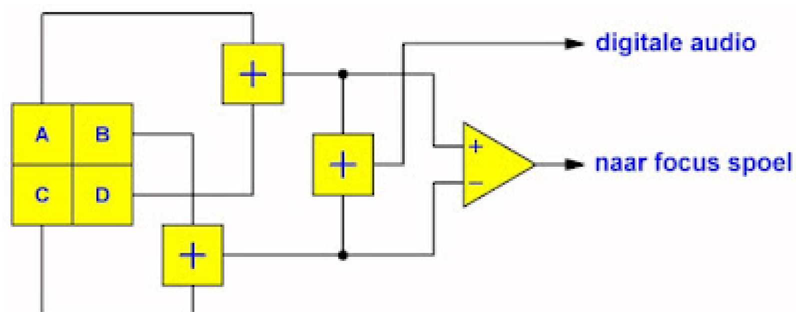
scherptediepte van het optisch systeem is gelijk aan slechts 4 µm. Dat wil zeggen dat de focus-fout maximaal gelijk mag zijn aan 0,5 µm. Dus moet de afstand tussen de lens van de pick-up en de reflecterende laag binnen deze tolerantie constant blijven. Zelfs de vlakste schijf zal toch nog altijd een kleine speling hebben waardoor de afstand tussen de lens en de reflecterende laag van de schijf in het gunstigste geval met ongeveer 500 µm varieert als de schijf roteert.

Vier foto-diodes
Zoals reeds geschreven valt de gereflecteerde hoofdstraal in op een diode-kwartet. Dat is in detail getekend in de onderstaande figuur. Als het optisch systeem goed gefocusseerd is zal de gereflecteerde straal rond zijn. Alle vier de diodes worden in gelijke mate belicht.
Als echter het systeem uit focus geraakt, doordat de afstand tussen lens en CD-schijf iets groter of kleiner wordt, dan zal de gereflecteerde straal dank zij de eigenschappen van de astigmatische lens ellipsvormig worden. Afhankelijk van de richting van de afwijking zal ofwel de diagonaal C/B ofwel de diagonaal A/D meer belicht worden.



De gereflecteerde hoofdstraal valt in op vier foto-diodes.
(© 2025 Jos Verstraten)

Het regelsysteem
Het elektronische regelsysteem is getekend in de onderstaande figuur. De uitgangsspanningen van de diodes A/D en B/C worden opgeteld, de twee somsignalen worden vervolgens aan een verschilversterker aangeboden. Als alle diodes even veel belicht worden (systeem in focus) zullen beide somsignalen even groot zijn en levert de verschilversterker geen signaal af. Als echter A/D of B/C meer belicht worden is een van de somsignalen groter. De verschilversterker levert een verschilspanning af waarmee een versterker wordt gestuurd die een correctiestroom door de focus-spoel stuurt. De afstand tussen de lens en reflecterende laag van de schijf wordt gecorrigeerd, zodat het optisch systeem zichzelf weer op het informatiespoor scherp stelt.



Het elektronische systeem dat de focus-correctie stuurt.
(© 2025 Jos Verstraten)

Het single-spot systeem

Inleiding
Het tri-spot systeem heeft een aantal nadelen:

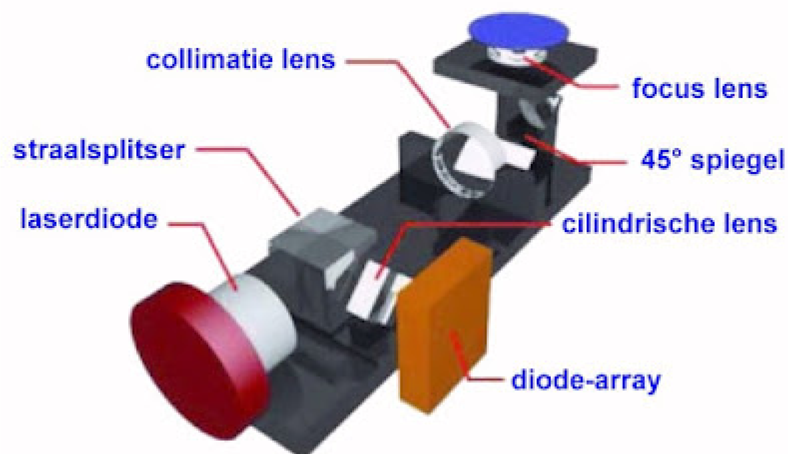
- Men is verplicht een slede-systeem toe te passen, omdat dit systeem alleen goed werkt als de straal echt radiaal de plaat aftast. Slede-systemen zijn ingewikkelder van constructie en in goedkope CD-spelers voor huisgebruik, waar kleine afmetingen een ondergeschikte rol spelen, zal men bij voorkeur een roterende constructie gebruiken.
- Het optisch systeem is uiteraard vrij ingewikkeld.
- Er zijn zes fotodiodes nodig, onderdelen die vrij duur zijn.
- Er staat maar ongeveer 50 % van de beschikbare straalenergie ter beschikking voor het uitlezen van het informatiespoor. De rest van de energie wordt gebruikt in de twee sub-beams.

Vandaar dat men bij Philips al in een vroeg stadium het systeem met straalsplitsing in het research-stadium heeft gelaten en alle verder onderzoek heeft toegespitst op het ontwerpen van praktisch bruikbare enkelstraal-systemen.

Twee systemen
Voor het detecteren van de gereflecteerde lichtstraal staan bij het single-spot systeem twee systemen ter beschikking:

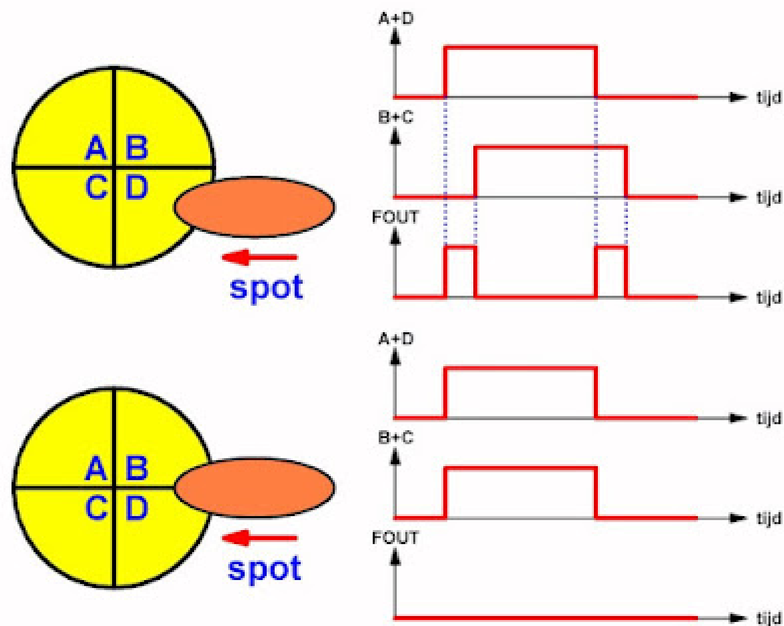
- Het systeem met vier in kwadrant opgestelde foto-detectoren.
- Het systeem met vier in-line opgestelde foto-detectoren.

Het kwadrant systeem
Het principe van het kwadrant systeem is geschetst in de onderstaande figuur. De vier diodes worden nu niet alleen gebruikt voor het regelen van de focussering, maar ook voor het besturen van de spoorvolging.



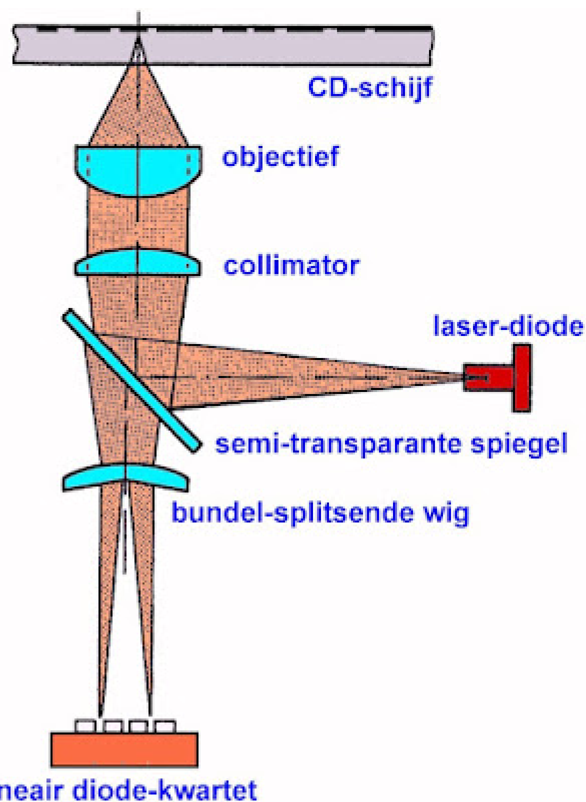
Het principe van het single-spot kwadrant systeem.
(© researchgate, edit 2025 Jos Verstraten)

Spoorvolging bij het kwadrant systeem
De werking van dit systeem wordt toegelicht aan de hand van de onderstaande figuur. Als de straal precies op de informatiespiraal is gericht, zal het teruggekaatste signaal precies in het midden van het diode-kwartet vallen (onderste tekening). De twee somversterkers A+D en B+C van een van de vorige figuren leveren identieke signalen af. De comparator die beide signalen met elkaar vergelijkt levert dan geen signaal af.
Als echter de straal iets te veel naar links of recht op de spiraal invalt, zal ook het teruggekaatste signaal niet precies in het midden van de diodes invallen (bovenste tekening). In het getekende voorbeeld zal eerst de somversterker A+D signaal leveren, de somversterker B+C zal iets later geactiveerd worden. De comparator levert dus een verschilpuls af, waarvan de positie ten opzichte van de A+D en B+C pulsen een maat is voor de richting van de afwijking. De elektronica kan deze positie evalueren en omzetten in een besturingssignaal voor de regelversterker.



De straalvolging bij het kwadrant systeem. (© 2025 Jos Verstraten)

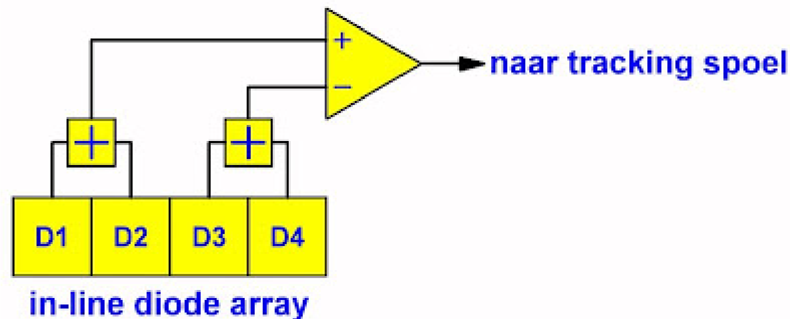
Het in-line systeem
Bij het in-line systeem wordt de teruggekaatste straal, zie de onderstaande figuur, is tweeën gesplitst. De twee deelstralen vallen in op vier fotodiodes die op één rij staan. Dit effect wordt verkregen door na het halfdoorlatende prisma een bundelsplitsende wig in het pad van de lichtstraal op te nemen.
Als alles goed gaat, dus lichtstraal precies gefocusseerd in het midden van de informatiespiraal, zullen beide deelbundels de vier diodes even veel belichten. De ene bundel belicht de twee linker sensoren, de tweede de twee rechter sensoren. Het systeem is in evenwicht.



Het principe van het single-spot in-line systeem.
(© 2025 Jos Verstraten)

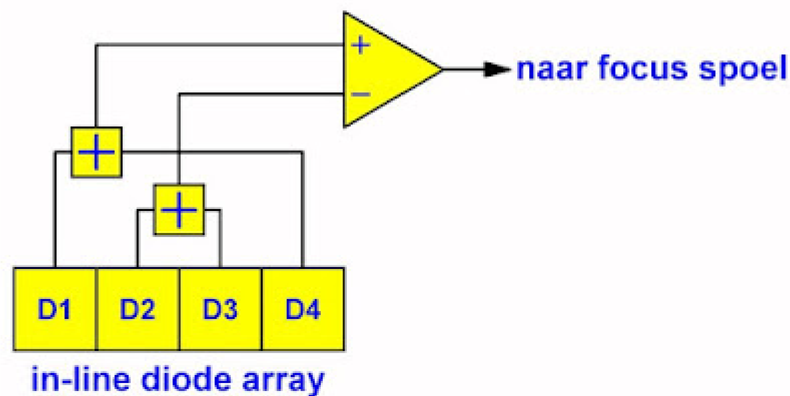
Spoorvolging bij het in-line systeem

Bij het in-line systeem wordt aan het spoeltje dat de optische pick-up heen en weer beweegt, een klein wisselspanningssignaaltje met een frequentie van 600 Hz aangeboden. Het gevolg is dat de gehele constructie gaat trillen met deze frequentie en dat dus ook de lichtstraal heen en weer beweegt. De amplitude van deze oscillatie is echter zeer klein: de lichtstraal oscilleert ongeveer 0,05 µm heen en weer. Deze mechanische modulatie veroorzaakt een optische modulatie van de teruggekaatste straal. De intensiteit van beide deelbundels gaat op het ritme van het 600 Hz signaal op en neer.
Als de straal goed gericht is zullen beide deelbundels in gelijke mate gemoduleerd zijn. Als echter de straal iets naar links of naar rechts afwijkt, zal een van de deelstralen meer gemoduleerd worden dan de andere. Men zou kunnen zeggen dat dank zij de optische eigenschappen van het systeem een van de deelstralen iets helderder wordt dan de andere. Het is nu niet erg moeilijk om met behulp van de eenvoudige schakeling van de onderstaande figuur uit dit verschil in intensiteit een stuursignaal voor de servo-schakeling af te leiden.



De straalvolging bij het in-line systeem. (© 2025 Jos Verstraten)

Focussering bij het in-line systeem
Als de lichtstraal goed gefocusseerd is op de reflecterende laag van de compact disk, dan zal het optisch systeem twee scherpe deelbundels op de diode-matrix projecteren. De ene valt precies in tussen D1 en D2, de tweede precies tussen D3 en D4. Als echter de spot uit focus geraakt zal het optisch systeem de afstand tussen beide deelbundels vergroten of verkleinen. Het gevolg is, zie de onderstaande figuur, dat ofwel D2 en D3 ofwel D1 en D4 meer belicht worden. Ook nu kan men deze optische informatie door middel van twee sommeer- en een verschilversterker omzetten in een besturingssignaal voor de focusseringsspoel.



De focussering bij het in-line systeem. (© 2025 Jos Verstraten)